

国外电子与通信教材系列

宽带无线数字通信

Wideband Wireless Digital
Communications

[奥] Andreas F. Molisch 编著

许希斌 赵明 栗欣 等译

姚彦 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
www.phei.com.cn

930
7N915.142
11186

国外电子与通信教材系列

宽带无线数字通信

Wideband Wireless Digital Communications

[奥] Andreas F. Molisch 编著

许希斌 赵 明 粟 欣 等译

姚 彦 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

宽带无线数字通信是当前无线通信技术的发展前沿,在未来的话音、视频、数据及多媒体等综合业务方面有广阔的应用前景。宽带无线数字通信和传统的窄带无线数字通信不同,由于信道等方面的原因,必须采用一些全新的技术和方法,围绕这些技术和方法,需要深入了解并研究一些新的理论和概念。本书汇集了多位专家的经验,对宽带无线数字通信进行了最全面、最深入的介绍。本书的主要特点是:将宽带无线数字通信系统分成最具有代表性的非均衡系统、单载波非扩频均衡系统、正交频分复用系统和码分多址系统四大类,全面涵盖了当前及未来宽带无线数字通信的最新内容。本书除了介绍基础知识和基本原理以外,还介绍了最新的学术前沿及技术进展。

这是一本很好的教科书和技术参考书,适用于电子与通信类专业的高年级本科生、研究生及研究所和企业的工程技术人员。

Simplified Chinese edition Copyright © 2002 by PEARSON EDUCATION NORTH ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Wideband Wireless Digital Communications, ISBN: 0130223336 by Andreas F. Molisch, Copyright © 2001.

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版北亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号:图字:01-2001-5091

图书在版编目(CIP)数据

宽带无线数字通信/(奥)莫利施(Molisch, A. F.)编著;许希斌等译. -北京:电子工业出版社, 2002.9
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Wideband Wireless Digital Communications

ISBN 7-5053-7667-5

I. 宽… II. ①莫… ②许… III. 宽带通信系统-无线电通信:数字通信-高等学校-教材 IV. TN915.142

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第070200号

责任编辑:李秦华 陶淑毅

印刷者:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:27.25 字数:698千字

版 次:2002年9月第1版 2002年9月第1次印刷

定 价:39.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

前 言

如果无线系统的带宽大于或等于某个带宽(这种带宽通常为 100 KHz 量级),在此带宽上信道传输函数又可以看做是常数,则这种系统就称为宽带无线通信系统。换句话说,在宽带无线通信系统中,时间色散和由之引起的码间串扰对系统性能起重要作用。实际上,所有的数字移动通信系统在某种程度上都是宽带的。90 年代初期和中期,由于采用多址接入方式而增加了传输带宽,从而推动了宽带传输的发展。特别是近几年来,单个用户数据率需求的大大增加,促使传输带宽更进一步提高。总而言之,移动通信系统的目标是向用户提供与固定及有线系统一样的业务及质量,高速无线因特网互联技术将在未来的移动通信系统发展中起到更重要的作用。

有四种基本系统可以用来理解无线移动通信中“宽带”的概念。第一种是非均衡系统,它像窄带系统那样设计和处理由时间色散引起的码间串扰,方法简单,但性能比窄带系统要差。第二种是采用均衡器来克服码间串扰的系统,这种系统利用了时间色散信道固有的延迟分集特性,因而能获得比窄带系统更好的系统性能。均衡器通常应用在单载波、TDMA/FDMA 系统中。第三种是采用瑞克接收机的码分多址系统。这种系统在今后几年将显得特别重要,它已经被选为第三代移动通信 UMTS(IMT-2000)的标准,并能支持高达 2 Mb/s 的数据率。第四种系统是针对更高数据率的系统,采用正交频分复用(OFDM)技术。

当前,无线移动通信领域的研究人员和工程师们将面临各种任务。当需要设计一个新的系统时,他们就必须决定采用什么样的体制来满足给定的边界条件,如:基站和移动台所期望的数据率及可利用的处理器能力等。当需要设计一个标准系统的发射机和接收机时,他们需要完成实现某种特定性能指标(型号认可的要求)的任务,在正常情况下,通常可以采取最廉价和最有效的技术方案。而学术研究者常常在无线移动信道的边界条件下,为取得最佳和最有效的数字信号处理问题的解决方案而努力工作着。

本书就是要为上述人员提供最新的结论与方法,并假定读者熟悉标准数字通信的基本知识,对 Proakis 教授精心撰写的经典教科书“Digital Communications”的主要内容有所了解。本书系统地概括了各个文献阐述的方法,希望为读者提供一条捷径,更好地理解以前文献中讲述的不同方法和结论。当然,读者若想了解更多感兴趣的内容,可进一步参考其他文献。

本书可以作为从事应用研究的人员的参考书,也可以作为无线数字通信领域研究生高级课程的教材。由于本书内容较多,作为一个学期的课程,教师可挑选其中的部分内容授课。根据我们的经验,先复习书中的基本知识,再给学生介绍一种特定的方法,然后布置一篇或两篇相关的论文作为自学任务或课后作业,将收到很好的效果。

本书的整体结构是:第一部分概述了最流行的宽带系统和宽带移动无线信道的特性,并对本书的其余部分也做了简要介绍。第二部分到第五部分分别介绍了几种宽带系统的实现方法,包括非均衡系统,均衡系统,正交频分复用系统和 CDMA 系统;这些内容的详细介绍可以参看第 4 章。本书的每一部分都可以单独阅读。

希望本书能够给无线数字通信这个令人兴奋领域的研究者更多的帮助,也很高兴能通过电子邮件得知你们对本书的意见和建议。邮件地址是:

Andreas.Molisch@tuwien.ac.at

同时你们也可以通过以下网站看到最新的更新内容和意见:

www.nt.tuwien.ac.at/mobile/staff/Andreas.Molisch/wideband_book.htm

在此感谢 Prentice Hall 的编辑 Bernard Goodwin,制作编辑 Jane Bonnell,感谢他们在手稿准备的不同阶段的专业指导和耐心。同时深深感谢 Manuela Hueber-Heigl 夫人,她快速而又准确地完成了原书的录入和排版工作。本书的作者还要感谢在本书各章节中的合著者,同时感谢本书的评审人为本书提出了一些有益的建议。

Andreas F. Molisch

维也纳,2000

目 录

第一部分 宽带系统引论

第 1 章 基础知识	3
1.1 什么是宽带系统	3
1.2 发展历史	4
参考文献	6
第 2 章 当前及未来的宽带系统	7
2.1 DECT 和 PHS	7
2.2 GSM/DCS-1900	9
2.3 IS-136	10
2.4 IS-95	11
2.5 W-CDMA	13
2.6 HIPERLAN-II	13
参考文献	14
第 3 章 无线移动信道	15
3.1 平衰落信道	15
3.2 时间色散信道:直观描述	16
3.3 时间色散信道:系统理论描述	18
3.3.1 确定性解释	18
3.3.2 随机性解释	21
3.4 广义平稳非相关散射(WSSUS)假设	21
3.4.1 广义平稳(WSS)	21
3.4.2 非相关散射	22
3.4.3 广义平稳非相关散射(WSSUS)	22
3.4.4 WSSUS 系统函数的一些特例	23
3.5 表达时间色散信道的参数	24
3.5.1 延迟扩展和相关带宽	24
3.5.2 延迟窗口和干扰比	26
3.5.3 总结	27
3.6 时间色散信道模型	27
3.6.1 抽头延时线模型	27
3.6.2 COST 207 模型	29

3.6.3 Hashemi – Suzuki – Turin 模型	31
3.7 含有角度色散的模型	31
参考文献	32
第4章 概述	35
第5章 展望	39
5.1 各种方法的比较	39
5.2 未来的发展	40
5.2.1 自适应天线	40
5.2.2 多输入-多输出系统	43
5.2.3 多用户检测	43
参考文献	43

第二部分 非均衡系统

第6章 为什么要研究非均衡系统	47
参考文献	48
第7章 系统模型	49
7.1 发射机	49
7.1.1 相移键控	49
7.1.2 频移键控	50
7.2 信道	51
7.3 接收机	51
7.3.1 相干和非相干解调	51
7.3.2 PSK 和 CPFSK 的差分检测	52
7.3.3 (CP)FSK 的鉴频器检测	52
7.4 同信道干扰的处理	52
参考文献	53
第8章 固定抽样的计算方法	54
8.1 一般考虑	54
8.1.1 符号序列的平均	54
8.1.2 经典接收机的分析	54
8.1.3 接收信号的相关特性	55
8.2 蒙特卡洛(MC)模拟方法	58
8.2.1 计算概述	58
8.2.2 文献评论	59
8.3 高斯变量二次型(QFGV)方法	59
8.3.1 有关公式	59
8.3.2 文献评论	60
8.4 高斯矢量间角度(ABGV)方法	60

8.5	相关矩阵特征值方法	61
8.6	群延迟方法	61
8.6.1	文献评论	62
8.7	差错域方法	62
8.8	等效信道模型方法	63
8.9	其他方法:文献评论	65
	参考文献	66
第 9 章	固定抽样的结果	73
9.1	调制、信道和接收机的影响	73
9.2	CPFSK	75
9.2.1	文献评论	76
9.3	FSK	76
9.4	相干检测 PSK	77
9.5	差分检测 PSK	77
9.5.1	文献评论	78
	参考文献	78
第 10 章	降低差错平台的调制方式和接收机结构	81
10.1	部分比特检测	81
10.2	非线性鉴频器	82
10.3	降低差错平台的调制方式	82
	参考文献	85
第 11 章	自适应抽样	87
11.1	盲自适应抽样	87
11.2	具有训练序列的自适应抽样	87
11.3	具有训练序列的同步	90
	参考文献	91
第 12 章	天线分集	93
12.1	天线分集的分类	93
12.2	高斯变量二次型(QFGV)方法	94
12.2.1	文献评论	95
12.3	差错域方法	95
12.4	阴影信道中的分集	96
12.5	采用固定抽样的分集结果	96
12.6	采用自适应抽样的分集结果	99
	参考文献	99
第 13 章	综述与结论	103
	参考文献	104

附录 A 采用固定抽样的比特差错率计算公式	106
A.1 高斯变量二次型(QFGV)方法的解	106
A.2 高斯矢量间角度(ABGV)方法的解	107
A.3 差错域方法的解	108
参考文献	108
附录 B 第二部分的字母表	110

第三部分 单载波非扩频数字调制的均衡技术

第 14 章 预备知识	117
14.1 引言	117
14.2 信号模型	119
14.2.1 发送信号	119
14.2.2 无线信道	121
14.2.3 接收滤波和抽样	121
14.2.4 整个链路的参数和符号	123
14.2.5 信道参数化	127
参考文献	131
第 15 章 最佳判决准则	134
15.1 最佳化	134
15.2 当信道冲激响应(CIR)是已知值时的检测度量	136
15.2.1 ML 序列检测器	136
15.2.2 联合界	139
15.2.3 MAP 比特及符号检测器	142
15.2.4 匹配滤波器的界	144
15.2.5 平衰落(FF)信道的分析	146
15.3 当信道冲激响应(CIR)是估计值时的检测度量	146
15.3.1 ML 序列检测器	147
15.3.2 联合界	151
15.3.3 MAP 比特及符号检测器	152
15.3.4 匹配滤波器的界	152
15.4 当信道冲激响应(CIR)是平均值时的检测度量	153
15.4.1 ML 序列检测器	153
15.4.2 联合界	157
15.4.3 MAP 比特及符号检测器	157
15.4.4 再谈匹配滤波器的界	158
15.4.5 平衰落(FF)信道的分析	159
参考文献	159

第 16 章	均衡算法	166
16.1	当信道冲激响应(CIR)是已知值时的均衡	166
16.1.1	基于维特比算法的 MLSD	166
16.1.2	减少复杂度的序列检测	169
16.1.3	判决反馈均衡器	174
16.1.4	线性均衡器	179
16.1.5	平衰落信道上的分集接收	181
16.1.6	MAPBD/MAPSD;前向-反向算法	183
16.1.7	降低复杂度的符号检测	187
16.2	当信道冲激响应(CIR)是估计值时的均衡	191
16.2.1	估计方法	191
16.2.2	采用信道估计的均衡器	196
16.2.3	逆滤波器	200
16.2.4	在平衰落(FF)下采用基于参考的信道估计均衡策略	201
16.3	当信道冲激响应(CIR)是平均值时的均衡	203
16.3.1	新息接收机	204
16.3.2	平衰落(FF)时的其他均衡策略	208
	参考文献	210

第四部分 正交频分复用

第 17 章	绪论	231
	参考文献	232
第 18 章	OFDM 的传输技术	233
18.1	发射机	233
18.2	接收机	235
18.3	采用软脉冲成形的多载波系统	236
	参考文献	237
第 19 章	同步	239
19.1	帧和时间同步	239
19.2	载波频率同步	239
	参考文献	240
第 20 章	调制	242
20.1	不采用差分编码	242
20.2	采用差分编码	242
	参考文献	244
第 21 章	解调	245
21.1	不采用差分调制的相干解调	245
21.1.1	信道估计	245

21.2	采用差分调制的非相干解调	246
21.3	准相干解调	247
	参考文献	247
第 22 章	信道编码	249
22.1	软输出解调	249
22.1.1	相干	249
22.1.2	非相干	250
22.1.3	准相干	251
22.2	比特度量	251
22.3	多层次编码	252
22.4	编码 OFDM 系统的性能	255
22.4.1	系统参数	255
22.4.2	结果	256
	参考文献	258
第 23 章	OFDM 信号的幅度限制	259
23.1	文献的建议	259
23.1.1	插入冗余度	259
23.1.2	校正 OFDM 信号	260
23.2	限带的附加校正函数	261
23.2.1	有限长度的附加校正函数	266
23.2.2	综合性能增益	269
23.2.3	关于复杂性	270
	参考文献	272
第 24 章	OFDM 信号的过滤	273
24.1	设计参数的选择	273
24.2	通过预畸变减少比特差错率	274
24.3	关于复杂性	275
24.4	采用附加校正和滤波的 OFDM 系统	277
第 25 章	采用频域均衡的 OFDM-CDM 和单载波传输	278
25.1	一种多载波 CDM 系统的原理	278
25.2	传输系统的结果	279
25.2.1	动态信号包络	279
25.2.2	计算复杂性	280
25.2.3	同步	280
25.2.4	性能	280
25.3	概念的比较	282
	参考文献	283

第五部分 码分多址

第 26 章 码分多址基础	287
26.1 引言	287
26.2 扩频概念	287
26.3 码分多址原理	288
26.4 CDMA 网络设计要点	289
26.4.1 假设	290
26.4.2 折中	290
26.4.3 码的选择	291
26.4.4 性能	292
26.4.5 设计改进	293
参考文献	294
第 27 章 传统的瑞克接收机	296
27.1 瑞克接收机的功能	296
27.2 单链路 CDMA 通信的瑞克行为	297
27.3 多小区 CDMA 网络的瑞克行为	299
参考文献	300
第 28 章 高级瑞克接收机结构	301
28.1 原理	301
28.2 常盲接收	302
28.3 自适应接收机	304
28.4 性能	306
参考文献	309
第 29 章 扩频带宽和选择分集的重数对瑞克接收的影响	310
29.1 引言	310
29.1.1 瑞克接收机	310
29.1.2 选择式瑞克接收机	311
29.1.3 已有的工作	311
29.1.4 选择式瑞克合并的分析框架	312
29.2 系统模型	312
29.2.1 信号和信道模型	313
29.2.2 匹配前端处理器(MFEP)	313
29.2.3 匹配前端处理器(MFEP)输出的统计特性	314
29.3 选择式瑞克接收机	315
29.4 选择式瑞克接收机的性能分析	317
29.4.1 虚拟路径技术:主要思想	317
29.4.2 虚拟路径域变换	317

29.4.3	合并器输出信噪比的均值及方差	319
29.4.4	虚拟瑞克结构的差错概率分析	320
29.5	特例	322
29.5.1	单路径接收机	322
29.5.2	全瑞克接收机	322
29.6	数值举例	323
29.6.1	均值和方差	323
29.6.2	符号差错概率	324
29.7	总结和说明	328
	参考文献	329
第 30 章	码的捕获	334
30.1	引言	334
30.2	分析工具:信号流图法	335
30.3	CDMA 系统的码捕获:准同步系统	338
30.4	CDMA 系统的码捕获:异步系统	341
	参考文献	345
第 31 章	码的跟踪	346
31.1	基带全时间超前-迟后跟踪环	346
31.2	全时间超前-迟后非相干跟踪环	346
31.3	T 型抖动超前-迟后非相干跟踪环	347
31.4	多径衰落对延迟锁定环的影响	348
	参考文献	350
第 32 章	CDMA 系统的信道估计	351
32.1	信道参数的确定	351
32.2	基于子空间的方法	352
32.2.1	估计信号子空间	354
32.2.2	信道估计	355
32.3	附加文献	357
	参考文献	361
第 33 章	CDMA 网络的容量	365
33.1	引言	365
33.2	系统模型	366
33.3	性能分析:CDMA 系统容量	369
33.4	多径信道:远近效应和功率控制	369
33.5	多径:瑞克接收机和干扰抵消	371
33.6	干扰抵消:非线性多用户检测器	373
33.7	近似	374
33.8	中断率	374

33.9 示例	376
参考文献	380
附录 A 匹配前端处理器输出的相关函数	382
A.1 慢变化信道假设	382
A.2 非相关散射假设	382
A.3 广义平稳信道假设	382
参考文献	383
附录 B 线性代数和矩阵代数	384
B.1 定义	384
B.2 特殊矩阵	385
B.3 矩阵运算和公式	386
B.4 定理	387
B.5 矩阵的特征函数	388
附录 C 符 号	390
术语表	391

第一部分

宽带系统引论

作者: Andreas F. Molisch

第1章 基础知识

1.1 什么是宽带系统

“Wideband”一词在英文中有很多种含义。在一些科普文章和主要新闻报刊中,几乎所有新的通信系统都会用到这个流行字眼,其出现的频率之高简直就如同“多媒体”、“信息社会”这样的词一样,随处可见。在正式的技术文献中它也有着不同的含义。例如在模拟调频中,“宽带”描述的是调制方式的一种属性,如果调制带宽远大于调制信号的带宽,就称为宽带调频。在射频工程中,“宽带”描述的是某种量(如天线带宽)与载波频率的相对大小——若其比值与1相比不是小很多,这种系统就叫做宽带系统。作为本书讨论重点的数字无线移动系统,“宽带”一词有更加广泛的含义:它是将系统的特定属性与传播环境的属性进行比较后得出的。

由于从发射机到接收机的多径传播,接收信号不仅仅是发射机所传送的单个回波(即经过衰减与相移后的一种简单复制),而是具有不同传播时间的多个回波。也就是说,这时移动无线信道的冲激响应不只是单个的冲激脉冲,而是一个由冲激脉冲组成的序列,这种信道就被称为时间色散信道。如果最大超量延迟(即第一个和最后一个回波之间的延迟)远小于一个数字符号的持续时间^①,那么时间色散对接收信号的形状就没有明显的影响,这种系统就称为窄带系统。另一方面,如果信道的最大超量延迟和一个数字符号的持续时间的比值不是远小于1,这种系统就称为宽带系统。由此我们可以发现,仅从系统知识的角度是绝不可能判断出它是宽带还是窄带的,我们还需要了解它运行时的信道特征。这就会引起一些术语上的混淆,并使得许多研究工作产生混乱。我们可以通过检查最大超量延迟和符号长度相比是稍小一些(但不是小得太多)还是更大一些来对系统进一步划分。在前一种情况下,系统的性能通常跟一种窄带系统相似,会遇到由于时间色散效应(符号间干扰)所产生的一些加性误差。在后一种情况下,如果最大超量延迟大于符号长度,我们就必须建立一种具有时间色散对抗技术的系统,这样的系统更复杂,造价也更贵,但却能比真正的窄带系统运作得更好。

判断某种系统是不是宽带的另一种方法是把它放到频域中去考虑。在频域里,我们把系统带宽与信道的传递函数相比较。如果传递函数在系统带宽范围内有明显的变化,那么也可证明该系统是一种宽带系统^②。作为一种近似,使传递函数保持常数的带宽刚好是延迟扩展的倒数。“宽带系统”多种定义的关系请参照图1.1。

尽管依赖于传输信道,但对一个无线移动系统是否是宽带的问题,我们还是可以做一些合理的初次评估。在室外信道的情况下,最大超量延迟的典型值是5~20微秒的量级,而在室内传播环境下,最大超量延迟的典型值不会超过0.1~1微秒的量级。如果采用二进制调制方式,则数据率大于10 Kb/s的室外系统及数据率等于200 Kb/s的室内系统从上面讨论过的意义

① 注意在扩频系统中,相应的量不是信息符号的持续时间,而是码片的持续时间。

② 第3章给出了精确测量最大超量延迟和传递函数变化的方法。通常来说我们关心的不是某个具体的信道,而是整体,这也使得我们更多地考虑频率相关函数,而异信道的瞬时传递函数。